

Motor cylinder fuel and air feed

BEST AVAILABLE COPY

Patent number: DE19801245
Publication date: 1999-07-22
Inventor: ANDRESEN PETER (DE); GRUENEFELD GERD (DE)
Applicant: ANDRESEN PETER L PROF DR (DE)
Classification:
- international: F02B17/00; F02M67/02
- european: F01L9/04; F02B17/00; F02M45/10; F02M51/06A
Application number: DE19981001245 19980115
Priority number(s): DE19981001245 19980115

Abstract of DE19801245

The fuel feed into the combustion zone of a cylinder, in an internal combustion motor, is blown in at high pressure from a premixing zone for the fuel/air with a stoichiometry of $\lambda = 8$ and infinity. The gas flow into the combustion chamber from one valve is combined with a second valve which opens and closes to inject fuel into the air stream, marked by a modulated stoichiometry. Both valves are operated by the motor management system, controlled according the operating conditions so that the mixture is blown in at preselected crankshaft angle intervals. The fuel mixture is layered within the cylinder combustion zone to give a large zone containing a lean mixture and a small zone containing a rich mixture. The small rich mixture vol. is ignited by compression, and at least opening the first valve controls the combustion function.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 198 01 245 A 1**

⑤ Int. Cl.⁶:
F 02 B 17/00
F 02 M 67/02

⑦ Aktenzeichen: 198 01 245.4
⑧ Anmeldetag: 15. 1. 98
⑨ Offenlegungstag: 22. 7. 99

DE 198 01 245 A 1

⑦ Anmelder:
Andresen, Peter L., Prof. Dr., 37127 Dransfeld, DE

⑦ Erfinder:
Andresen, Peter, 37127 Dransfeld, DE; Grünefeld,
Gerd, 33602 Bielefeld, DE

⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

DE	42 25 991 C2
DE	196 49 466 A1
DE	195 19 663 A1
DE	34 90 359 T1
CH	5 78 118 A5
US	49 87 878 A

MIKULIC, Leopold Alois, u.a.: Sequentielle
Einspritzstrategien für verbrauchsoptimierte
Ottomotorkonzepte. In: MTZ Motortechnische
Zeitschrift 51, 1990, 7/8, S.286-293;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤ Anordnung zur Beladung eines Brennraumes über eine mehrfach öffnende Ventilkombination

⑤ Es wird eine Anordnung zur Beladung des Brennraumes und zur Steuerung der Verbrennung in Motoren angemeldet, die aus einer Hochdruckversorgung für Luft, einem schnellen Ventil V1, das direkt in den Brennraum mündet, einem weiteren schnellen, mit dem ersten Ventil gekoppelten, schnellen Ventil V2 für die Zufuhr flüssigen Kraftstoffes in einen Vormischbereich besteht. Durch die mehrfache Öffnung während eines Verbrennungszyklus wird im Brennraum, in Abhängigkeit vom Betriebszustand des Motors, eine Ladungsschichtung erzeugt, bei der eine magere Ladung in Luft eingebettet ist und eine fettere Ladung in die magere Ladung eingebettet ist. Durch eine Öffnung des Ventils V1 wird, bei Bedarf, in der späten Kompressionsphase extra Gas zur Steuerung der Brennfunktion eingeblasen. Durch die Anordnung kann zu jedem Betriebspunkt eine speziell für diesen Betriebspunkt optimierte Beladung erfolgen.

DE 198 01 245 A 1

Beschreibung

Stand der Technik

Es ist bekannt, daß die Verbrennung in Motoren mit höheren Emissionen und größeren Wirkungsgradverlusten verbunden ist als in Gas- oder Ölheizungen. Daß erhebliches Potential für Kraftstoffersparnis vorhanden ist, sieht man schon an dem GDI Motor von Mitsubishi.

In Gas- oder Ölheizungen wird eine effiziente Verbrennung mit wenig Schadstoffbildung oft durch gestufte Verbrennung erreicht, d. h. eine kleine, hochturbulente fette Flamme zündet eine magere, ebenfalls sehr turbulente Hauptflamme, in der der Hauptteil der chemischen Energie umgesetzt wird. Durch den sehr mageren Betrieb im Hauptteil der Flamme, der nur durch hohe Turbulenz möglich ist, wird thermisches NO stark reduziert und HC Reste effizient abgebaut. Auch der Ruß, der eventuell in dem kleinen fetten Bereich der Zündflamme entsteht, wird nachverbrannt. Die Energieausnutzung ist sehr hoch. Da Heizungs Brenner typisch bei nur einem Betriebspunkt mit einer stationären Strömungs- und Verbrennungssituation arbeiten, muß zur Optimierung "nur" eine besonders gute Anordnung für die Zufuhr von Kraftstoff und Luft gefunden werden.

Im Gegensatz zu Heizungs Brennern treten in Motoren unvermeidlich sehr unterschiedliche Strömungs- und Verbrennungsverhältnisse auf, da ein Motor bei einer Vielzahl verschiedener Betriebszustände (Kaltstart, Warmlauf, Teillast, Vollast) arbeiten muß. Die Änderung der Luft- und Kraftstoffzufuhr bei der Variation der Leistung, schlechte Kraftstoffverdampfung bei Kaltstart und Warmlauf, unterschiedliche Drucke im Brennraum oder die sich mit der Umdrehungszahl ändernde Geschwindigkeit des Kolbens sind nur einige Beispiele, die zu vielen verschiedenen Strömungs- und Verbrennungsverhältnissen führen. Die Verbrennung in Motoren ist durch diese Vielzahl verschiedener Strömungs- und Verbrennungsverhältnisse erheblich schwieriger zu optimieren als die "nur eine" Strömungs- und Verbrennungssituation im Heizungs Brenner. Durch die große Zahl verschiedenster Strömungs- und Verbrennungsverhältnisse kann ein Motor nicht für jeden Betriebspunkt einzeln optimiert werden. Motoren werden für gewisse Betriebszustände (für den Fahrzyklus wichtige) optimiert und arbeiten bei anderen Betriebszuständen unter nicht optimalen Bedingungen.

Daher sind Maßnahmen, die für jeden einzelnen Betriebspunkt eine effiziente Steuerung der Verbrennung erlauben äußerst wünschenswert. So werden hier Maßnahmen für eine variable Beladung des Brennraums vorgeschlagen, die in Verbindung mit variabler Turbulenzerzeugung z. B. starke Veränderungen der Brennfunktion bewirken und damit die Effizienz und Schadstoffbildung empfindlich beeinflussen.

Als Beispiel sei die bei einigen Betriebszuständen im Otto Motor (z. B. Kaltstart, Warmlauf, Teillast) auftretende "verschleppte Verbrennung" erwähnt, die oft auf mangelnde Turbulenz zum Zeitpunkt der Zündung zurückgeführt wird. Sie ist an den Druckkurven leicht zu erkennen. Eine sehr effiziente Maßnahme zur Bekämpfung dieser "verschleppten Verbrennung" ist die Erzeugung von vermehrter Turbulenz zum Zeitpunkt der Zündung, z. B. durch eine Einblasung von Luft in der späten Kompressionsphase. Es ist bekannt, daß damit die Brennfunktion, die Druckkurve, die Effizienz und auch die Schadstoffbildung stark beeinflußt werden.

So führt die von Herrn Schwartz bereits 1929 durchgeführte "späte" Einblasung von Luft (d. h. während der Kompressionsphase und z. T. auch nach der Zündung) zu einer deutlichen Erhöhung der Brenngeschwindigkeit, zur Erhöhung der Effizienz und Reduktion der Schadstoffbildung.

Eigene Arbeiten an einem $\epsilon = 6.5$ Versuchsmotor (Grünefeld et al, "Direct Air Injektion for Substantial Improvement of SI Engine Cold Start Performance" SAE Paper 971069) und an einem Serienmotor (private Mitteilung M. Schütte) führten zu dem beeindruckenden Ergebnis, daß durch die Einblasung von Luft die HC-Emissionen beim Kaltstart auf die Hälfte reduziert werden können (im direkten Vergleich zum Serienmotor).

Die Erkenntnis, daß durch Turbulenz die Verbrennung positiv beeinflußt werden kann, ist sehr gut bekannt. Daher werden zur Erhöhung der Turbulenz verschiedene Maßnahmen getroffen und neue Maßnahmen vorgeschlagen.

Auch beim typischen 4-Zylinder Otto Saugrohrmotor wird versucht, hinreichend hohe Turbulenz zum Zeitpunkt der Zündung zu erzielen. Meist erfolgt aber die Zufuhr der Luft während des Einlaßtaktes über das Einlaßventil. Es wird auch hier (z. B. durch eine geschickte Gestaltung der Luftzufuhr über swirl- oder tumble- Strömungen im Brennraum) versucht, Turbulenz zum Zeitpunkt der Zündung zu erzielen. Allerdings ist die über das Einlaßventil erzeugte Turbulenz zum Zeitpunkt der Zündung meist weitgehend abgeklungen, da Turbulenz mit der Zeit zerfällt und zwischen Einlaßphase und Kompressionsphase erhebliche Zeit vergeht. Dieses gilt insbesondere bei kleinen Umdrehungszahlen. Nur bei hoher Umdrehungszahl sorgt die hohe Kolbengeschwindigkeit auch kurz vor der Zündung meist für hinreichend viel Turbulenz und bessere Verbrennung. Bei vielen anderen, sehr häufig auftretenden Betriebszuständen (wie z. B. Kaltstart, Warmlauf, Teillast) mit niedriger Umdrehungszahl, führt die durch den nur langsamen Kolben erzeugte schwache Turbulenz zu verschleppter Verbrennung.

Aus diesem Grunde werden häufig andere Verfahren zur Erzeugung von vermehrter Turbulenz vorgeschlagen und eingesetzt. Da Turbulenz mit der Zeit zerfällt, ist es offensichtlich von Vorteil, extra Turbulenz in der (späten) Kompressionsphase zu erzeugen. Ein Beispiel für die Erzeugung später Turbulenz sind die bekannten Quetschflächen zwischen Zylinderkopf und Kolben. Auch Stichkanäle zwischen Zylindern (französische Patente), Vorratsbehälter, in die z. B. während der Verbrennung Gase eingelassen und im Folgezyklus im Kompressionstakt zugegeben werden (Daimler), sind Beispiele für die Erzeugung später Turbulenz.

Alle diese Verfahren erlauben aber - im Vergleich zu der großen Zahl auftretender verschiedener Strömungs- und Verbrennungsverhältnisse - eine Optimierung nur für wenige Betriebszustände. So ist z. B. bei kleinen Umdrehungszahlen die von Quetschflächen erzeugte Turbulenzintensität nicht ausreichend. Die erwähnten Stichkanäle oder Vorratsbehälter erlauben keine flexible Beladung des Brennraumes mit unterschiedlicher Ladungsschichtung und erzeugen auch keine definierte, in großen Grenzen variable, Turbulenzintensität. Es handelt sich meist um passive Komponenten, die keine aktive Variation von Beladung und Turbulenz erlauben. Eine hinreichend variable, vom Motormanagement steuerbare effiziente Anpassung an die vielen verschiedenen Betriebszustände des Motors ist damit also nicht zu erreichen.

Ein anderes wohl bekanntes Problem der motorischen Verbrennung ist, daß die Verbrennung (insbesondere homogener) magerer Gemische im Otto Motor schwierig ist. Auch hier ist bekannt, daß dieses auf mangelnde Turbulenz zum Zeitpunkt der Zündung zurückzuführen ist. Während z. B. in gestuften Heizungs Brennern die magere Verbrennung hoch effizient und sehr schadstoffarm ist, nimmt beim Motor (bei zunehmend magerer Stöchiometrie) die Schadstoffbildung durch zunehmend unvollständige Verbrennung ab einer bestimmten, motorabhängigen Stöchiometrie wie-

der zu. Die saubere und effiziente Verbrennung magerer Gemische ist also in Motoren wesentlich schwieriger als z. B. in kommerziellen Heizungsbrennern. Sie äußert sich in erhöhten Emissionen und verschlechtertem Wirkungsgrad der primären Verbrennung. Typischerweise ist die Schadstoffbildung um fast eine Größenordnung größer als in einem Heizungsbrenner.

Der Vergleich mit dem Heizungsbrenner zeigt, daß für bestimmte Strömungs- und Verbrennungsverhältnisse eine saubere und effiziente Verbrennung möglich ist. Daher sollte eine ähnlich effiziente und saubere Verbrennung im Motor möglich sein, wenn es gelingt, durch eine gute Ladungsschichtung und hohe Turbulenz eine gestufte Verbrennung für jeden Betriebszustand zu erreichen.

Aus diesem Grunde werden Schichtladungskonzepte mit einem kleineren, fetteren und damit leicht entzündlichen Teil der Ladung bei der Verbrennung magerer Gemische verfolgt. Ein Beispiel ist die in der letzten Zeit viel diskutierte Direkteinspritzung von Benzin in Otto Motoren (GDI), bei der flüssiger Kraftstoff auch relativ spät (direkt) in den Brennraum gespritzt wird. Das große Problem bei der Realisierung von Schichtladungskonzepten ist, daß die Strömungsverhältnisse so ausgelegt werden müssen, daß für alle Betriebszustände (!) der fettere leicht entzündliche Teil der Ladung zum Zeitpunkt der Zündung an der Zündkerze sein muß.

Diese gezielte Zufuhr des fetten Teils der Ladung zur Zündkerze durch strömungstechnische Maßnahmen ist, in Anbetracht der Vielzahl verschiedener Strömungs- und Verbrennungsverhältnisse bei den vielen verschiedenen Betriebszuständen, äußerst schwierig. Trotzdem beweist der GDI Motor von Mitsubishi, der seit kurzer Zeit auf dem europäischen Markt ist, daß dieses möglich ist.

Voraussetzung einer effizienten und schadstoffarmen Verbrennung auch magerer Gemische im Brennraum ist also sowohl eine Ladungsschichtung mit dem fetteren Teil der Ladung an der Zündkerze zum Zeitpunkt der Zündung (für alle Betriebszustände!) als auch eine hinreichend hohe Turbulenz. Die Erreichung dieses Zieles durch eine Hochdruckgemischeinblasung ist der Gegenstand dieser Erfindung.

Mit der gegenwärtigen Erfindung, einer direkten Hochdruckgemischeinblasung, soll zum einen elektronisch über gekoppelte, schnelle Ventile flexible Beladung des Brennraums mit Luft und verschiedenen Kraftstoff-Luft-Gemischen, eine in weiten Grenzen variable Ladungsschichtung entstehen. Zum anderen soll durch die Hochdruckgemischeinblasung das simultan auftretende Problem der oft mangelnde Turbulenz zum Zeitpunkt der Zündung durch eine elektronisch gesteuerte späte Einblasung von Luft (oder eventuell auch Kraftstoff-Luft Gemisch) gelöst werden. Eine der gewünschten Ladungsschichtungen soll so sein, daß in dem Großteil der (mageren) Ladung zum Zeitpunkt der Zündung ein kleinerer, fetterer Bereich eingebettet ist. Eine andere gewünschte Ladungsschichtung soll so sein, daß zusätzlich die magere Ladung zu den Brennraumwänden hin von Luft umschlossen ist, um Wärmeverluste zur Wand zu minimieren.

Beide Maßnahmen (Erzeugung einer steuerbaren Schichtladung und steuerbarer Turbulenz) zusammen bewirken, daß die Verbrennung effizienter und schadstoffärmer abläuft. Damit ergibt sich eine erhebliche Ähnlichkeit zu der oben beschriebenen, gestuften Verbrennung in Heizungsbrennern. Zusätzlich ergibt die sehr große Flexibilität bei der Beladung des Brennraumes (s. u.) sehr effiziente Maßnahmen zur Steuerung der Verbrennung für eine Vielzahl verschiedener Betriebszustände. Die große Flexibilität ergibt sich daraus, daß wahlweise Luft oder Kraftstoff-Luft-Gemische unterschiedlicher Stöchiometrie mehrfach in ei-

nem Motorzyklus, im zeitlichen Nacheinander, in den Brennraum eingeblasen werden.

Im Gegensatz zum GDI Konzept sollen mit der HDGE Gase (Luft und verschiedene Kraftstoff-Luft-Gemische) direkt in den Brennraum eingeblasen werden (statt Flüssigkeiten einzuspritzen). Im Gegensatz zu den flüssigen Tröpfchen der GDI erzeugen die hier verwendeten Gase erheblich mehr Turbulenz. Daher sind Gase zur effizienten Steuerung der Brennfunktion wesentlich besser geeignet. Die luftgeführte Direkteinspritzung erzeugt, ähnlich wie die HDGE, durch die Luft Turbulenz und scheint damit eine gewisse Ähnlichkeit mit der hier vorgeschlagenen Hochdruckgemischeinblasung zu haben. Sie ist aber immer mit einer Kraftstoffeinspritzung verbunden und zielt damit "nur" auf eine gute Gemischauflbereitung ab. Eine effizient steuerbare Beeinflussung der Brennfunktion ist durch die luftgeführte Direkteinspritzung weder geplant noch möglich.

Realisierung der Hochdruckgemischeinblasung

Ein Beispiel für die Hochdruckgemischeinblasung ist in Abb. 1 dargestellt. Sie besteht hier aus zwei verschiedenen schnellen Ventilen und einer Hochdruck Luftversorgung. Das Ventil (V1) ist direkt mit dem Brennraum verbunden und schließt auf der Innenseite ohne Nischen ab. Auf der dem Brennraum abgewandten Seite des Ventils V1 befindet sich ein "Vormischbereich", (VM) der über die Hochdruck-Luftversorgung mit Luft bei hohem Druck versorgt wird. Der Druck muß so hoch sein, daß auch in der späteren Kompressionsphase noch Gas eingeblasen werden kann. In den Vormischbereich wird über ein weiteres Ventil (V2) flüssiger Kraftstoff zugeführt. Beide Ventile sollen so schnell sein, daß sie sich innerhalb eines Motor-Zyklus (zumindest für die nicht zu hohen Umdrehungszahlen bei Kaltstart, Warmlauf und Teillast) mehrfach öffnen können. Beide Ventile werden vom Motor-Management in Abhängigkeit vom Betriebszustand elektronisch gesteuert werden.

Die HDGE muß vom Motor Management gesteuert werden, um die Verbrennung an die verschiedenen Betriebszustände anzupassen. Dieses gilt sowohl für die Beladung des Brennraumes mit einer Schichtladung als auch für die Steuerung der Brennfunktion über Turbulenz.

Mit dieser Anordnung (der HDGE) können dem Brennraum in einem Motor-Zyklus mehrfach Luft oder verschiedene Kraftstoff-Luft-Gemische bei hohem Druck zugeführt werden. Sie soll verwendet werden, um die Ladung zum Zeitpunkt der Zündung so zu gestalten, daß ein kleiner fetterer, hochturbulenter Zündbereich entsteht, der den größeren mageren Teil der Ladung sauber und effizient abbrennt. Dieses entspricht dem Prinzip des oben beschriebenen typischen Heizungsbrenners. Neben der so erzielten Ladungsschichtung soll aber auch die Turbulenz zum Zeitpunkt der Zündung aktiv beeinflußt werden. Dazu wird dem Brennraum über das Ventil V1 in bestimmten Kurbelwinkelintervallen (insbesondere in der Kompressionsphase) Luft (oder auch ein Kraftstoff-Luft-Gemisch zugeführt. Dieses ist gerade bei den Betriebszuständen Kaltstart, Warmlauf und Teillast, wo eine erhöhte Turbulenz wichtig ist, von großer Bedeutung.

Die Zufuhr von Gas (d. h. Luft oder Gemisch) direkt in den Brennraum ist wesentlich für die Steuerung der Brennfunktion, da durch die Einblasung von Gasen wesentlich mehr Turbulenz erzeugt wird als z. B. durch die Einspritzung von flüssigen Tröpfchen beim GDI.

Steuerung der Ventile bei der HDGE

Die Ventile werden elektronisch vom Motormanagement

gesteuert.

Zufuhr von Luft über die HDGE

Bei der Zufuhr von Luft zum Brennraum öffnet nur das Ventil V1 in einem einstellbaren Kurbelwinkelbereich, d. h. vom Motormanagement gesteuert für eine einstellbare Dauer. Ventil 2 bleibt geschlossen.

Zufuhr eines Gemisches aus Kraftstoff und Luft über die HDGE

Soll dem Brennraum ein Gemisch aus Kraftstoff und Luft zugeführt werden, so öffnet sowohl Ventil V1 als auch Ventil V2. V1 wird, vom Motormanagement gesteuert, für einen gewünschten KW-Bereich geöffnet, so daß in dieser Zeit Luft aus dem Vormischbereich in den Brennraum strömt. Es wird zunächst nur eine Öffnung von V1 betrachtet. Innerhalb dieses KW-Bereiches öffnet V2 einmal oder mehrfach für einstellbare Zeitintervalle und spritzt flüssigen Kraftstoff in die im Vormischbereich strömende Luft. Über die Zahl und Dauer der Öffnungsintervalle von V2 wird die bei der Öffnung von V1 dem Brennraum zugeführte Kraftstoffmenge gesteuert. Auf diese Weise entstehen (in dem in den Brennraum einströmendem Gas) Kraftstoff-Luft-Gemische mit unterschiedlicher Stöchiometrie. Durch die Variation der Länge und Lage der Öffnungsintervalle von V2 können dem Brennraum, bei einer Öffnung von V1, fettere und magerere Gemische mit verschiedener Schichtung zugeführt werden.

Die Kopplung der Ventile V1 und V2 kann auch mechanisch erfolgen.

Die Zufuhr von Luft erfolgt vorzugsweise 1.) in der Einlaßphase bei kleinen KW zur Vermeidung von Drosselverlusten, zur Luftummantelung des mageren Bereiches oder auch zur Aufladung, 2.) in der späten Kompressionsphase zur Steuerung der Brennfunktion oder auch zur Aufladung und 3.) während der Verbrennungsphase zur Förderung der Nachverbrennung.

Die Zufuhr von Gemisch erfolgt vorzugsweise 1.) in der Einlaß- und frühen Kompressionsphase bei kleinen KW zur (auch feiner geschichteten) Einbringung mageren Gemisches 2.) in der späten Kompressionsphase zur Zufuhr des kleineren fetteten Teils der Ladung.

Durch die vom Motor-Management gesteuerte, u. U. mehrfache Öffnung von V2 kann dem über V1 in den Brennraum fließenden Luftstrom mehr oder weniger Kraftstoff zugegeben werden und damit die Gaszusammensetzung bei einer Öffnung von V1 modulieren (Feinmodulation). Eine grobe Modulation der Gaszusammensetzung kann natürlich auch über mehrfache Öffnungen von V1 erfolgen.

Da sowohl durch die Länge als auch die Lage der Öffnungsintervalle von V2 (während einer Öffnung von V1) dem Brennraum abwechselnd Bereiche mit unterschiedlichen Stöchiometrien zugeführt werden, entstehen im Brennraum, je nach Strömungsverhältnissen, Bereiche mit unterschiedlicher Stöchiometrie zum Zeitpunkt der Zündung. Diese feinere Ladungsschichtung kann von Vorteil sein.

Variation der Turbulenz durch Länge und Lage des Einblasintervalls

In einem Kurbelwinkelintervall [KW1, KW2] wird über das Ventil V1 für eine bestimmte Dauer Luft (oder auch ein Gemisch aus Kraftstoff und Luft) in den Brennraum eingeblasen. Durch die Länge und die Lage des Intervalls relativ zum Zündzeitpunkt (um 360 KW) werden zum Zeitpunkt

der Zündung Zustände mit verschiedener Turbulenz erzeugt. Dabei spielt sowohl die Länge als auch die zeitliche Lage des Intervalls relativ zur Zündung eine wesentliche Rolle. Durch die Länge des Intervalls wird die zugeführte Gasmenge variiert, so daß, je nach Gasmenge, mehr oder weniger kinetische Energie auf das im Brennraum vorhandene Gas übertragen wird. Die Lage des Intervalls kann eine kurze oder lange Zeit vor dem Zündzeitpunkt liegen. Erfolgt das Einblasen des Gases kurz vor der Zündung, so hat man große Wirbel mit viel kinetischer Energie zum Zeitpunkt der Zündung (hohe Turbulenzintensität). Erfolgt das Einblasen des Gases lange vor der Zündung, so sind die Wirbel kleiner geworden und haben ihre kinetische Energie weitgehend verloren. Die Turbulenzintensität ist zum Zeitpunkt der Zündung weitgehend abgeklungen. Die zugegebene Gasmenge kann auch durch den Hinterdruck variiert werden.

Über die so steuerbare Turbulenzintensität wird die Brennfunktion zu einer steuerbaren Größe.

Ein Beispiel für die Beladung des Brennraumes über die HDGE

Die Beladung des Brennraumes kann erheblich anders beim Saugrohrmotor erfolgen. So kann die Beladung z. B. ausschließlich über die HDGEV erfolgen und der Brennraum kann aufgeladen werden. Es kann aber auch ein Teil der Beladung über das Einlaßventil eines normalen Saugrohrmotors erfolgen.

Die Beladung des Brennraumes über die HDGE in verschiedenen Kurbelwinkelintervallen während eines Motorzyklus von 0-720 KW ist in Abb. 2 gezeigt. Dabei wird zunächst Luft, dann eine größere Menge mageren Gemisches und dann eine kleine Menge fetteten Gemisches zugeführt. (Mit "fetterem Gemisch" ist hier nicht gemeint, daß eine Stöchiometrie kleiner als 1 vorliegt; es reicht auch ein stöchiometrisches Gemisch für eine sichere Zündung).

In diesem Beispiel öffnet das Ventil V1 während der Einlaßphase zunächst einmal, um Luft in den Brennraum zu blasen. Dabei soll über das Ventil die Beladung so gesteuert werden, daß während der Abwärtsbewegung des Kolbens mindestens 1 bar Druck im Brennraum herrscht und damit die im Ottomotor während der Einlaßphase üblichen Drosselverluste vermieden werden.

Dann öffnet das Ventil V1 in der Einlaß- und Kompressionsphase, um dem Brennraum in einem oder mehreren KW-Intervallen ein mageres Gemisch aus Kraftstoff und Luft zugeben. Dabei kann das Ventil V2 während eines Öffnungsintervalls von V1 einmal oder mehrfach flüssigen Kraftstoff für einstellbare Zeiten der im Vormischbereich vorliegenden Strömung zugeben. In der Kompressionsphase öffnet V1, ohne daß V2 öffnet und bläst eine bestimmte Menge Luft in den Brennraum, um Turbulenz zu erzeugen. Dieses erfolgt nur dann, wenn für den Betriebszustand erhöhte Turbulenz von Vorteil ist, d. h. typisch bei Kaltstart, Warmlauf und Teilast.

Das Ergebnis dieser Art der Beladung des Brennraumes ist in Abb. 3 gezeigt. Die in der frühen Phase eingelassene Luft wird sich, wegen der nachfolgenden Beladung mit magerem KI-Gemisch, im Wesentlichen an den Wänden befinden. Der anschließend zugeführte kleinere fettete Bereich wird eingelagert in den mageren Bereich. In dieser Ladungsschichtung wird durch eine späte Luft einblasung u. U. vermehrte Turbulenz erzeugt.

Der kleinere fettete Bereich wird entweder durch eine Fremdzündung (z. B. Zündkerze) oder durch Selbstzündung entzündet. Die z. B. in der Kompressionsphase zugeführte Luft erhöht die Turbulenz, so daß der Flammenkern sich schneller ausbreiten kann.

Es ist klar, daß auf diese Weise viele verschiedene Strömungs- und Verbrennungsverhältnisse realisiert werden können, so daß die nachfolgende Verbrennung effizient beeinflußt wird.

Spezielle Aspekte

Schnelligkeit des Ventils

Da die Probleme, die zur ineffizienten Verbrennung führen, hauptsächlich bei Kaltstart, Warmlauf und Teillast bei mittleren Umdrehungszahlen auftreten, müssen beide Ventile schneller als 10 msec öffnen, um zumindest Mehrfachöffnungen des Ventils bei diesen mittleren Umdrehungszahlen zu ermöglichen. Die piezoelektrisch betriebenen Ventile, die heute für die Druckverlaufsformung bei der Dieseleinspritzung entwickelt werden, erfüllen potentiell alle motorischen Anforderungen an das Ventil (Dichtigkeit, Hochdruckfestigkeit, Temperaturbelastbarkeit, ...), sind schnell genug und lassen sich auch einfach steuern. Da der Hub dieser Ventile für die Einblasung von größeren Gemischmengen vermutlich größer sein muß als für die Einspritzung von Flüssigkeiten, muß eine Übersetzung für einen größeren Hub erfolgen.

Zündung der Ladung im Brennraum

Das fettere Gemisch wird dem Brennraum zugeführt um eine sichere Zündung zu erreichen (Ladungsschichtung). Die Zündung kann entweder durch Fremdzündung (z. B. Zündkerze) oder durch Selbstzündung erfolgen.

Hier wird nur die Selbstzündung diskutiert.

In der späten Kompressionsphase wird ein kleinerer fetterer Bereich in der Schichtladung erzeugt. Dieses geschieht dadurch, daß im Vormischbereich der strömenden Luft flüssiger Kraftstoff eingespritzt wird. Der Kraftstoff verdampft und vermischt sich mit der heißen Luft so daß ein fetteres gut brennbares Gemisch entsteht. Die Dauer dieses Vorganges hängt sowohl von der Tröpfchengröße und der Temperatur der Luft im Vormischbereich ab. Liegt die Temperatur im Vormischbereich unterhalb der Selbstzündungstemperatur kann im Vormischbereich keine Selbstzündung auftreten. Durch die Temperierung der Luft sowie durch die hinreichende Tröpfchengröße wird sichergestellt, daß Selbstzündung im Vormischbereich vermieden wird. Dazu wird die Temperatur der vom Kompressor zugeführten Luft hinreichend niedrig gehalten.

Um eine Selbstzündung im Brennraum zu erreichen, wird das fettere Gemisch bei Kurbelwinkelintervallen in der nicht zu späten Kompressionsphase eingeblasen. Die Temperatur im Brennraum liegt dann noch unter der maximalen Temperatur, die im oberen Totpunkt durch adiabatische Kompression erreicht wird. Zu diesem Zeitpunkt soll die Temperatur noch unterhalb der Temperatur für Selbstzündung liegen. Die Temperatur im Brennraum steigt gegen Ende der Kompression stark an. Durch diese verbleibende Kompression steigt die Temperatur im Brennraum über die Selbstzündungstemperatur an. Das Gemisch wird, wie im Dieselmotor, durch die Kompression entzündet.

Der Vorteil der Selbstzündung ist, daß der fette Zündbereich der Schichtladung nicht durch eine gezielte Auslegung der Strömung (für alle Betriebszustände!) an die Zündkerze gebracht werden muß. Er kann irgendwo im Brennraum liegen und von dort aus die Verbrennung starten. Vorzugsweise sollte der fettere Bereich vielleicht in der Mitte des Brennraumes liegen.

Die Hochdruck Luftversorgung erfolgt vorzugsweise durch Kompression von Luft durch den zu steuernden Mo-

tor (z. B. ein extra Kolben oder indirekt über Kompression durch vorhandene Kolben). Daher kann die Luft im Vormischbereich eine erhöhte Temperatur haben. Dieses ist ein Vorteil, da die Kraftstoffverdampfung bei erhöhten Temperaturen schneller erfolgt und die Vermischung in kurzen Zeiten erfolgt.

Alternativ kann auch die Zündverzugszeit, die durch die Verdampfung des Kraftstoffes und die anschließende Vermischung des gasförmigen Kraftstoffes mit Luft entsteht, zur Vermeidung der Selbstzündung im Vormischbereich eingesetzt werden, um den Zündzeitpunkt im Brennraum zu beeinflussen.

Luftummantelung

Die Einblasung von Luft zu Beginn der Einlaßphase dient nicht nur zur Vermeidung von Drosselverlusten. Durch die spätere Beladung mit Gemisch ist das Gemisch in der Ladung, bei nicht zu starker Verwachsung der Ladung, von Luft ummantelt. Der Ladungsbereich nahe an der Wand ist also nicht brennbar. Daher werden Wärmeverluste durch eine hohe, wandnahe Verbrennungstemperatur vermieden.

Verwaschen der Ladung

Eine ideale Ladungsschichtung wäre durch einen äußeren Luftmantel, einen großen Bereich mageren Gemisches und einen kleinen, in den mageren Teil der Ladung eingelagerten fetteren Bereich gegeben. Durch die Strömungsverhältnisse werden sich diese verschiedenen Bereiche der Ladung, zumindest an ihren Rändern, miteinander vermischen.

Leistungsvariation

Der Motor soll ohne gedrosselte Luftzufuhr arbeiten, so daß Drosselverluste entfallen. Die Leistungsvariation soll über die Menge des dem Brennraum über die MDGE zugeführten mageren Gemisches erfolgen. Es handelt sich um eine Quantitätsregelung wie beim Dieselmotor. Die zugeführte Kraftstoffmenge wird über V2 vom Motormanagement je nach Betriebszustand gesteuert.

Aufladung des Brennraumes

Da für die späte Einblasung von Gasen ohnehin Luft bei hohen Drucken erforderlich ist, kann bei einer Öffnung des Ventils der Brennraum mit mehr als 1 bar beladen werden. Die Vorteile der Aufladung für die Steigerung der Leistung pro Volumen sind bekannt. Bei hohem und bei tiefem Druck ist die Stärke des Luftstromes durch die Schallgeschwindigkeit begrenzt. Bei hohem Druck ist aber die Stärke des Luftstromes entsprechend der höheren Dichte größer. Durch die elektronische Ansteuerung des Ventils kann dem Brennraum Luft zu vielen verschiedenen Zeitpunkten innerhalb des Verbrennungszyklus zugeführt werden. Dieses ist für die flexible Steuerung der Abläufe von Vorteil.

Verbrennung schwierig zu brennender Gemische

Durch die mit der MDGE mögliche starke Erhöhung der Turbulenz (und deren Variabilität) zum Zeitpunkt der Zündung können auch sonst nur schwierig vollständig zu verbrennende Gemische sauber verbrannt werden. So ist die MDGE von besonderem Vorteil bei der Verbrennung magerer Gemische. Die Anforderungen an die Qualität des Kraftstoffes sind daher gering und es lassen sich auch sonst schwer brennbare Gemische verbrennen.

Abb. 1

Anordnung für die Hochdruckgemischeinblasung

Die Hochdruckgemischeinblasung erfolgt über Vormischbereich VM, der mit Luft bei hohem Druck versorgt wird, z. B. über einen Kompressor der vom laufenden Motor betrieben wird.

Über das Ventil V2 wird dem Vormischbereich flüssiger Kraftstoff zugeführt. Über das Ventil V1 wird Luft oder Gemisch direkt dem Brennraum zugeführt, d. h., das Ventil V1 mündet im Brennraum und schließt auf der Brennraumseite ohne Nischen ab.

Öffnet nur das Ventil V1, so wird dem Brennraum nur Luft zugeführt. Das Ventil soll (z. B. über eine piezoelektrische Ansteuerung) eine so kurze Öffnungsdauer (unter 10 msec) haben, daß auch bei hoher Umdrehungszahl mehrfach Gas in den Brennraum eingeblasen werden kann. Auch das Ventil V2 soll schnell öffnen, um der im Vormischbereich fließenden Luft mehrfach unterschiedliche Mengen Kraftstoff zugeben zu können.

Abb. 2

Über das Ventil V1 wird dem Brennraum in einem Verbrennungszyklus von 0-720° KW mehrfach entweder Luft oder Kraftstoff-Luft-Gemisch zugeführt. Während der Öffnungszeit von V1 kann auch das Ventil V2 mehrfach geöffnet werden, um dem Luftstrom Kraftstoff zuzugeben. Das Motormanagement steuert für beide Ventile jeweils Öffnungsdauer und Lage des Öffnungsintervalls relativ zum Kurbelwinkel. Die Öffnungsintervalle der Ventile sind beispielhaft angedeutet durch das Symbol [].

Im angegebenen Beispiel wird dem Brennraum zunächst Luft im Intervall [1], dann mageres Kraftstoff-Luft-Gemisch im Intervall [2], dann im Intervall [3] eine kleine Menge fetteres Gemisch zugegeben. Im Intervall [2] wird über V2 im Vergleich zur Luftmenge wenig Kraftstoff, im Intervall [3] wird über V2 im Vergleich zur Luftmenge viel Kraftstoff zugegeben. Die resultierende Ladung besteht dann aus einem großen in Luft eingebetteten mageren Bereich, in den ein kleinerer fetterer Bereich eingebettet ist. Gegen Ende der Kompressionsphase in [4] wird dem Brennraum Luft zur Steuerung der Turbulenz zugegeben und während der Verbrennung [5] noch einmal Luft zur Nachverbrennung.

Abb. 3

Die resultierende Ladung im Brennraum hat in Wandnähe eine Schicht Luft, so daß Wärmeverluste zur Wand verkleinert werden. In diese Luft ist mageres Gemisch eingebettet. Durch die Menge des mageren Gemisches soll die Leistung des Motors variiert werden. Eingebettet in der mageren Ladung ist ein kleiner Bereich mit fetterem Gemisch (z. B. $\lambda = 1.0$), der zur sicheren Zündung dient. Eine Öffnungsphase des Ventils V1 dient zur Erzeugung vermehrter Turbulenz.

Patentansprüche

1. Anordnung zur Beladung und Steuerung eines Motors, **dadurch gekennzeichnet**, daß über ein direkt im Brennraum mündendes Ventil V1, das während eines Motor Zyklus mehrfach geöffnet wird, Luft oder Kraftstoff- Luft-Gemische mit Stöchiometrien zwischen $\lambda = 0.8$ und ∞ mit hohem Druck aus

einem Vormischbereich in den Brennraum eingeblasen werden,

wobei dem in den Brennraum strömenden Gas durch ein zweites im Vormischbereich mündendes Ventil V2, das während einer Öffnung von Ventil V1 ein- oder mehrmals flüssigen Kraftstoff in die einströmende Luft spritzt, eine modulierte Stöchiometrie aufgeprägt wird wobei beide Ventile vom Motormanagement, in Abhängigkeit vom Betriebszustand, so gesteuert werden, daß die Gemische in vorwählbaren Kurbelwinkelintervallen eingeblasen werden und

daß im Brennraum eine Ladungsschichtung mit einem (unter Umständen luftumschlossenen) großen mageren und einem kleineren fetten Bereich entsteht, und daß der kleinere fettere Bereich durch die Kompression gezündet wird,

und daß mindestens eine Öffnung des Ventils V1 zur Steuerung der Brennfunktion erfolgt.

2. Anordnung zur Beladung und Steuerung eines Motors nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Öffnung des mehrfach öffnenden Ventils zur Steuerung der Brennfunktion erfolgt.

3. Anordnung zur Beladung und Steuerung eines Motors nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Ventile mit schnelleren Öffnungszeiten als 10 msec arbeiten.

4. Anordnung zur Beladung und Steuerung eines Motors nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das oder die Ventile piezoelektrisch betrieben werden und der Hub des Ventils durch eine Übersetzung vergrößert wird.

5. Anordnung zur Beladung und Steuerung eines Motors nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das eingeblasene Gemisch durch Kompression entzündet wird.

6. Anordnung zur Beladung und Steuerung eines Motors nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein zweites (u. U. baugleiches) Ventil als Auslaßventil verwendet wird.

7. Anordnung zur Beladung und Steuerung eines Motors nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Ventil für eine Aufladung des Brennraums verwendet wird.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

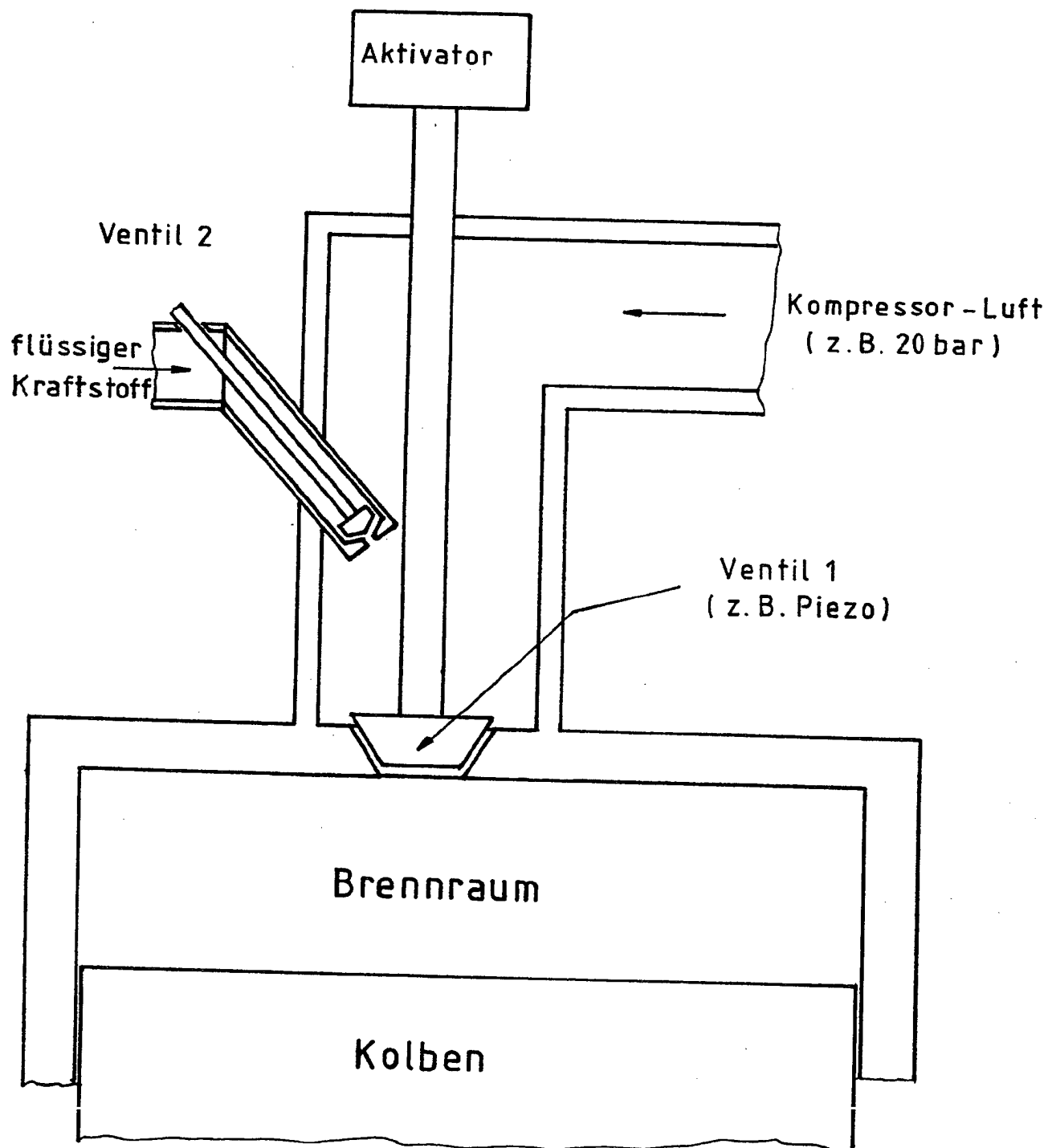


Abb. 1

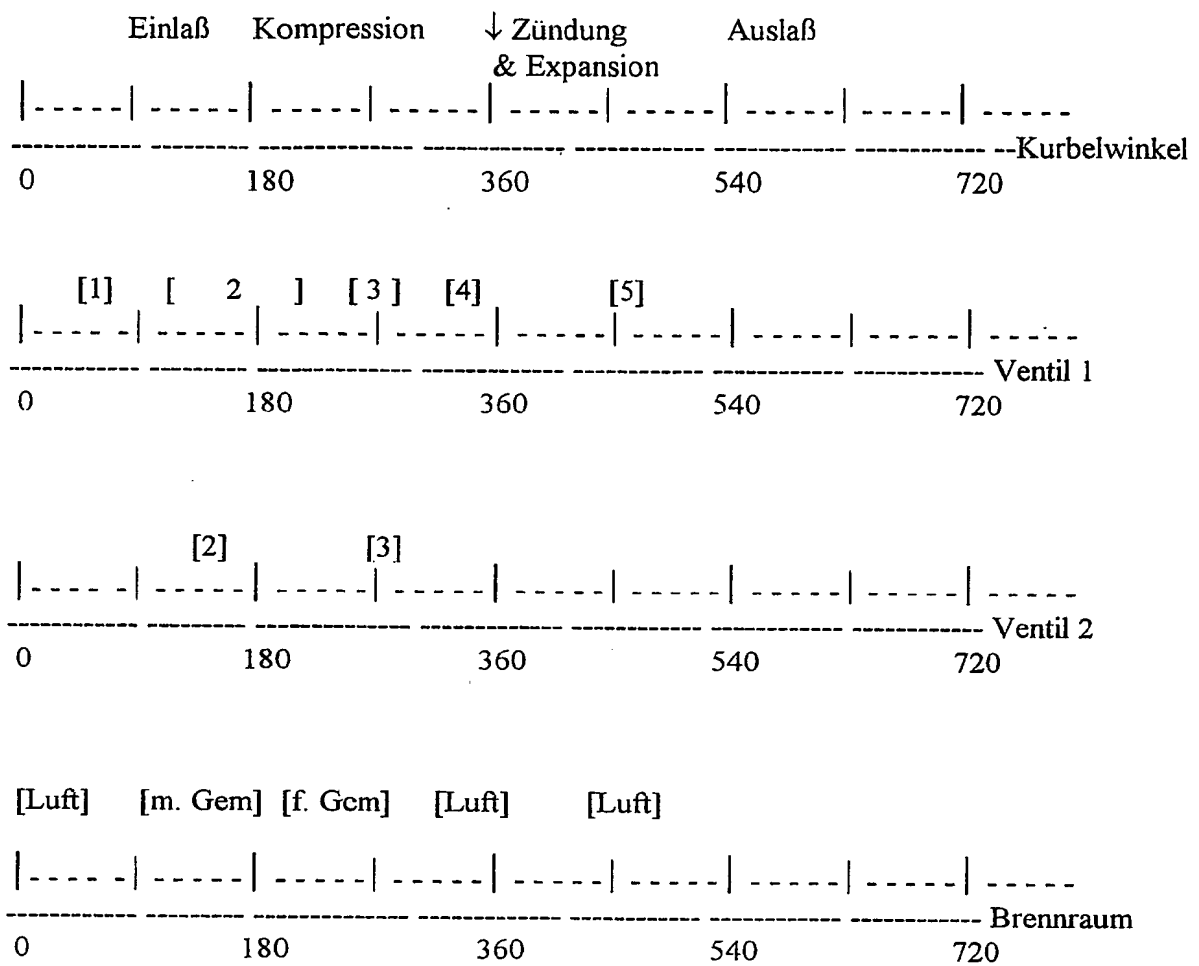


Abb. 2

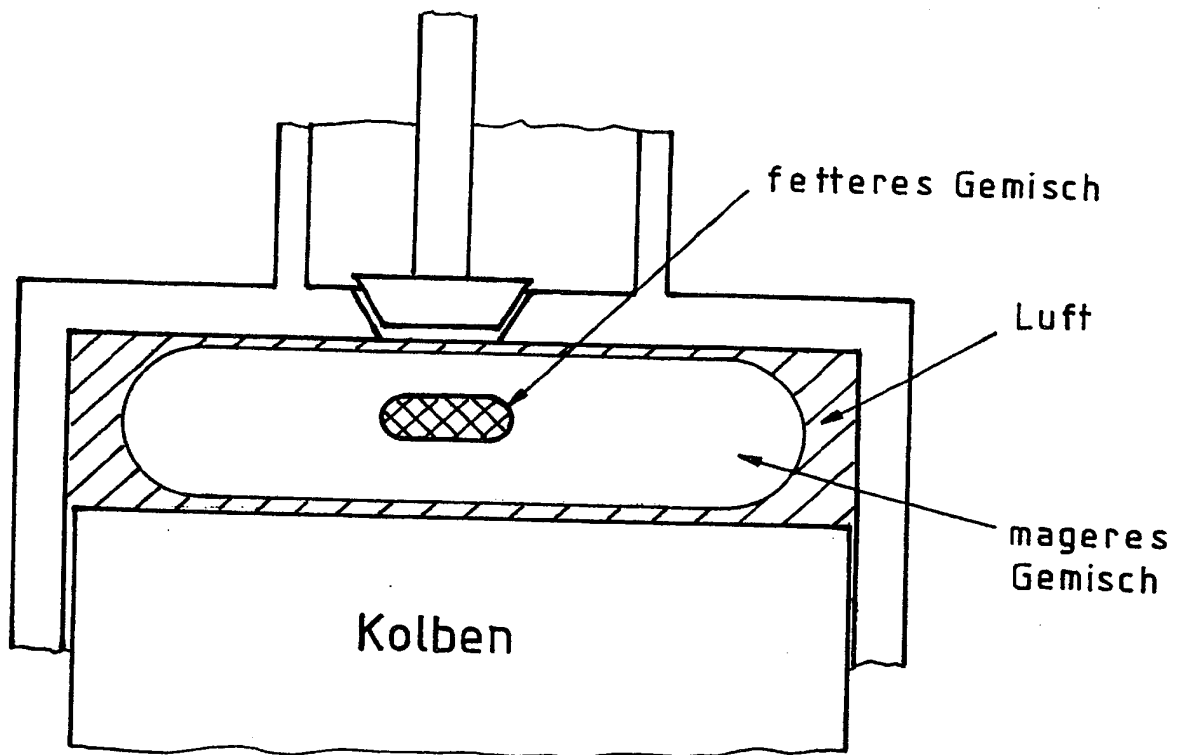


Abb. 3

Brennraumbeladung (Beispiel)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)